

# Segmentation of Animations

Citation for published version (APA):

Spanjers, I. A. E. (2012). *Segmentation of Animations: Explaining the Effects on the Learning Process and Learning Outcomes*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University.  
<https://doi.org/10.26481/dis.20120705is>

**Document status and date:**

Published: 01/01/2012

**DOI:**

[10.26481/dis.20120705is](https://doi.org/10.26481/dis.20120705is)

**Document Version:**

Publisher's PDF, also known as Version of record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## Summary

This dissertation focuses on the design of instructional animations, more specifically, on segmenting as a means to improve the effectiveness of animations for novices' learning. Animations that visualize processes or procedures over time are attractive and appealing, and are included more and more often in instructional materials. However, research has shown that animations are not always more effective for learning than series of static pictures, which are less expensive to develop. This finding inspired research on ways to improve animations and optimize their effectiveness for learning. A number of design guidelines aimed at improving the effectiveness of animations have been proposed. One of those is segmentation, that is, presenting animations in pieces rather than as a continuous stream of information. In this dissertation, it is examined more closely *why* segmentation of instructional animations positively affects the learning process (in terms of mental effort invested during study, which is a measure of experienced cognitive load) and learning outcomes. This is examined in a literature study and four empirical studies.

In Chapter 2 a review is presented of studies that investigated the effects of segmentation of dynamic visualizations. Several studies found positive effects of segmentation of dynamic visualizations on learning outcomes, mental effort invested in study, or both. Additionally, two alternative but not mutually exclusive explanations for the segmentation effect are discussed in this Chapter. The *time-to-process explanation* (or pausing explanation) is based on the assumption of Cognitive Load Theory (e.g., Sweller, 2010) that limitations of working memory should be taken into account when designing effective instructional materials. According to the Time-Based Resource-Sharing Model of Barrouillet and Camos (2007) working memory resources are divided between different cognitive processing and maintaining activities by switching attention rapidly back and forth. When processing takes up a large amount of the available time, little time remains to give attention to maintaining information in working memory, and, as a consequence, information may be forgotten. Pauses which are inserted between segments give learners additional time to perform necessary cognitive processes on smaller units of information and in that way support students in learning from the animations. The other explanation is the *temporal cueing explanation* based on the Event Segmentation Theory (Zacks, Speer, Swallow, Braver & Reynolds, 2007). According to this theory people mentally segment events they perceive in sub events. Segmentation may cue event boundaries, and in that way support people in this process of mentally segmenting the information and help them perceive the structure underlying a process or procedure.

The study presented in Chapter 3 aimed to examine whether an expertise reversal effect occurs with the effects of segmentation of animations. It is likely that segmentation, regardless of whether it is due mainly to pausing, cueing event boundaries, or a combination of both, is only effective for novice students, who have little if any prior knowledge of the topic of the animation. Prior knowledge might enable students to deal with animations' transience (i.e., information disappears continuously to make place for new information presented in the next moment) and to see the structure of the presented

information, and hence, students with prior knowledge might no longer benefit from segmentation. Previous research has shown that instructional design guidelines which are effective for novices' learning process or outcomes are often not effective for more advanced students (i.e., the 'expertise reversal effect'; see Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003). In this experiment, secondary education students with different amounts of prior knowledge studied either eight segmented or eight non-segmented animations on probability calculation. The segmented animations were divided into meaningful pieces by the insertion of pauses of 2 seconds. The animations continued automatically after those 2 seconds. An interaction effect was found on invested mental effort, indicating that learners with lower levels of prior knowledge tended to benefit from segmentation (i.e., tended to invest less mental effort in learning from the segmented animations than from the non-segmented animations) while there was no benefit for learners with more prior knowledge. No such interaction was found for learning outcomes on the near and far transfer test. It can be concluded that learning from segmented animations was more efficient (i.e., same level of learning outcomes reached with less investment of effort) than learning from non-segmented animations for students with low prior knowledge, but not for students with more prior knowledge. In other words, this study seems to provide some evidence that an expertise reversal effect occurs with segmentation of animations.

In the next three chapters, the plausibility of the two explanations for the positive effects of segmentation for novice students, which were provided in Chapter 2, was examined. In the study presented in Chapter 4, third-year secondary education students with little prior knowledge learned from four text-based worked examples on probability calculation in one of three conditions: a) studying worked examples in a segmented format (i.e., in pieces separated by blank lines), b) being instructed to actively segment the examples during study by indicating what they consider the boundaries between segments, or c) studying the examples in a non-segmented format. It was found that presenting the worked examples in a segmented format tended to reduce mental effort invested in understanding the worked examples without decreasing learning gains. The instruction to actively segment, on the other hand, increased the mental effort required for understanding the worked examples without increasing learning gains compared to the other two conditions. Additionally, students who were instructed to segment actively had to put more mental effort in completing the posttest than learners who studied segmented worked examples (but they did not obtain larger learning gains). Because the worked examples consisted of written text, they were not transient and learners could pause during example study whenever they wanted. Therefore, it is unlikely that the time-to-process (or pausing) explanation explains the found trend that segmentation leads to a reduction in mental effort invested during learning, and this finding seems to provide support for the temporal cueing explanation, which states that the segmentation supported the students in grouping information elements together. In addition, this study shows that instructing students to interact with learning material, which is often assumed to lead to deeper processing, indeed leads them to invest more effort, but does not necessarily result in better learning outcomes. For these novices, actively segmenting may have been a secondary task, distracting them from the primary task of learning the content of the examples.

Because the text-based worked examples used in Chapter 4 were not transient, it was not possible to examine the role that pauses play in the segmentation effect in animations. This was addressed in the study described in Chapter 5. Third-year secondary education students studied four condition-specific animations on probability calculation, either animations that were: a) non-segmented, b) segmented by pauses, c) segmented by temporarily darkening the screen slightly, and d) segmented by a combination of pauses and temporarily darkening the screen. In the two conditions in which the animations were segmented by pauses, the animations stopped at the end of each segment and continued automatically after two seconds. In the two conditions in which the animations were segmented by temporarily darkening the screen, a grey, transparent frame was placed on top of the animations, either for half a second (in the condition without pausing) or for the duration of the pauses (in the combined condition). The results revealed a main effect of insertion of pauses, with pausing leading to higher learning outcomes. This supports the time-to-process explanation. Additionally, however, there was a main effect of darkening the screen: students in these conditions invested less mental effort in studying the animations than students in the other two conditions, which supports the temporal cueing explanation. The interaction effects were not significant. It can be concluded that both pausing and temporal cueing seem to play a role in the positive effects of segmentation on learning outcomes and mental effort.

In Chapter 5, the pauses, even without the temporarily darkening of the screen, would also provide signals regarding the structure of the material. As such, the positive effects of pausing could not solely be attributed to the time-to-process explanation. Therefore, the study presented in Chapter 6 investigated the effects of pausing at meaningful vs. random places in the animations. Both the time-to-process explanation and the combination of the time-to-process and the temporal cueing explanation predict positive effects on learning outcomes and/or invested mental effort of meaningfully segmented animations. However, for random segments, the time-to-process explanation predicts positive results but the combination of the time-to-process and temporal cueing explanation does not, because segmenting in random pieces would be expected to hinder learning by providing wrong temporal cues. Third year secondary education students studied four animations on probability calculation, either a) non-segmented, b) segmented by pauses into meaningful pieces, or c) segmented by pauses into random pieces. Again, pauses lasted 2 seconds, and the animations continued automatically after the pauses. There were no significant differences between conditions in performance on the posttest. However, there were differences in mental effort invested in studying the animations and completing the posttest. Studying meaningfully segmented animations required less mental effort than studying non-segmented animations. Furthermore, studying randomly segmented animations also required less mental effort than studying non-segmented animations, and also reduced effort invested in completing the posttest. In other words, random segmenting seemed to enhance efficiency in terms of both the learning process (equal test performance reached with less effort during study) and learning outcomes (equal test performance reached with less effort invested in the test). These findings are in line with the predictions of the time-to-process explanation, but run contrary to the predictions of the combined time-to-process and temporal cueing explanation. Hence, it

seems that we may conclude that the beneficial effects of segmentation of animations are mainly due to additional time to process.

In the General Discussion in Chapter 7, the results from the empirical studies are discussed, along with their limitations, theoretical and practical implications, and ideas for future research. Taken together, the studies reveal that pauses are important for the positive effects of segmentation in animations, but that temporal cues may also play a role in these positive effects of segmentation. Furthermore, it was found that segmentation is only effective for novice students.

## References

- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). The time-based resource-sharing model of working memory. In N. Osaka, R. H. Logie, & M. D'Esposito (Eds.), *The cognitive neuroscience of working memory* (pp. 59-80). Oxford, England: Oxford University Press.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist, 38*, 23-31.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review, 22*, 123-138.
- Zacks, J. M., Speer, N. K., Swallow, K. M., Braver, T. S., & Reynolds, J. R. (2007). Event perception: A mind-brain perspective. *Psychological Bulletin, 133*, 273-293.

## Samenvatting

Dit proefschrift gaat over het ontwerpen van instructieve animaties, of meer specifiek over segmentatie als een manier om de effectiviteit van animaties voor het leren van novieten (i.e., lerenden die nog geen specifieke voorkennis hebben over een leertaak) te verbeteren. Animaties die het verloop van processen of procedures door de tijd heen laten zien zijn aantrekkelijk en worden daarom steeds vaker gebruikt in instructiemateriaal. Maar onderzoek heeft laten zien dat animaties niet altijd effectiever zijn voor het leren dan een reeks statische plaatjes, terwijl die veel minder duur zijn om te ontwikkelen. Deze bevinding heeft aanleiding gegeven onderzoek te doen naar manieren om animaties te verbeteren en hun effectiviteit voor het leren te optimaliseren. Dat onderzoek heeft reeds geleid tot een aantal ontwerprichtlijnen om de effectiviteit van animaties te verbeteren. Een daarvan is segmentatie, dat wil zeggen het presenteren van animaties in stukjes in plaats van als een continue stroom van informatie. Het doel van de studies in dit proefschrift was om meer specifiek te onderzoeken *waarom* segmentatie van instructieve animaties het leerproces (in termen van de hoeveelheid moeite die is geïnvesteerd in het bestuderen als maat voor de ervaren hoeveelheid cognitieve belasting) en leeruitkomsten positief beïnvloedt. Dit is onderzocht in een literatuurstudie en vier empirische studies.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van studies die het effect van segmentatie van dynamische visualisaties onderzocht hebben. Verschillende studies vonden een positief effect van segmentatie op leeruitkomsten, moeite geïnvesteerd in het bestuderen, of beide. Daarnaast worden twee verschillende, maar elkaar niet uitsluitende, verklaringen voor het effect van segmentatie besproken in dit Hoofdstuk. De *verwerkingstijdverklaring* (of pauzeverklaring) is gebaseerd op de aanname van de cognitieve belastingstheorie (e.g., Sweller, 2010) dat beperkingen van het werkgeheugen in acht genomen moeten worden bij het ontwerpen van effectief instructiemateriaal. Volgens het ‘time-based resource-sharing model’ van Barrouillet and Camos (2007) wordt de werkgeheugencapaciteit verdeeld tussen verschillende cognitieve verwerkings- en onthoudactiviteiten door de aandacht snel te wisselen tussen de activiteiten. Wanneer een groot deel van de beschikbare tijd nodig is voor het verwerken van informatie, blijft weinig tijd over om aandacht te geven aan het onthouden van informatie, met als gevolg dat informatie mogelijk wordt vergeten. Pauzes tussen de segmenten geven lerenden extra tijd om de nodige cognitieve verwerkingsactiviteiten uit te voeren op kleinere stukjes informatie en ondersteunen hen op die manier bij het leren van de animaties. De andere verklaring is de *temporele-cueingverklaring* gebaseerd op de ‘event segmentation’ theorie (Zacks, Speer, Swallow, Braver & Reynolds, 2007). Volgens deze theorie delen mensen de gebeurtenissen die ze waarnemen mentaal op in subgebeurtenissen. Segmentatie geeft de grenzen tussen subgebeurtenissen aan, en op die manier zou het lerenden kunnen ondersteunen bij het in betekenisvolle stukjes opdelen van de informatie en helpen bij het zien van de onderliggende structuur van een proces of procedure.

De studie die in Hoofdstuk 3 wordt beschreven, onderzoekt het optreden van een interactie tussen voorkennis en de effecten van segmentatie van animaties. Het is

waarschijnlijk dat segmentatie, ongeacht of het voornamelijk te wijten is aan pauzes, het cueing van grenzen tussen subgebeurtenissen of een combinatie van beide, alleen effectief is voor beginnende lerenden, die weinig tot geen voorkennis hebben over het onderwerp van de animatie. Voorkennis kan lerenden in staat stellen om met de vluchtigheid van informatie in animaties (d.w.z. informatie verdwijnt continu om plaats te maken voor nieuwe informatie) om te gaan en om de structuur in de gepresenteerde informatie te zien. Daarom profiteren lerenden met voorkennis mogelijk niet meer van segmentatie. Eerder onderzoek heeft laten zien dat ontwerprichtlijnen die effectief zijn voor het leerproces of de leeruitkomsten van beginnende lerenden vaak niet effectief zijn voor meer gevorderde lerenden (dit is het zogenaamde ‘expertise reversal effect’ zie Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003). In dit experiment bestudeerden middelbare scholieren met verschillende mate van voorkennis acht gesegmenteerde of acht niet-gesegmenteerde animaties over kansberekening. De gesegmenteerde animaties waren door pauzes van 2 seconden in betekenisvolle stukjes opgedeeld. De animaties gingen vanzelf na deze 2 seconden verder. Een interactie-effect werd gevonden voor geïnvesteerde moeite. Dit effect gaf een trend aan waarbij lerenden met weinig voorkennis profiteerden van de segmentatie (d.w.z. dat ze minder moeite hoefden te investeren in het leren van de gesegmenteerde animaties dan van niet-gesegmenteerde), terwijl lerenden met meer voorkennis niet van de segmentatie profiteerden. Voor scores op de nabije en verre transfer test werden dergelijke interactie-effecten niet gevonden. Het kan worden geconcludeerd dat het leren van gesegmenteerde animaties efficiënter was (d.w.z. gelijke leeruitkomsten werden bereikt met minder moeite) dan leren van niet-gesegmenteerde animaties voor lerenden met weinig voorkennis, maar niet voor lerenden met meer voorkennis. Met andere woorden, deze studie lijkt enige ondersteuning te vinden voor het optreden van een ‘expertise reversal effect’ voor segmentatie van animaties.

In de volgende drie hoofdstukken werd de waarschijnlijkheid onderzocht van de twee verklaringen voor de positieve effecten van segmentatie voor beginnende lerenden: de verwerkingstijdverklaring en de temporele-cueingverklaring. In de studie die wordt beschreven in Hoofdstuk 4 leerden derdejaars middelbare scholieren met weinig voorkennis over kansberekening, door middel van het bestuderen van vier uitgewerkte voorbeelden onder één van drie condities: a) het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden in een gesegmenteerde lay-out (d.w.z. in stukjes verdeeld door witregels), b) het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden met de instructie om ze zelf in stukjes op te delen, of c) het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden in een niet-gesegmenteerde lay-out. Er werd een trend gevonden dat het leren van uitgewerkte voorbeelden in een gesegmenteerde lay-out minder moeite kostte dan leren van de voorbeelden in een niet-gesegmenteerde lay-out, terwijl de leerwinsten even goed waren. De instructie om de voorbeelden in stukjes op te delen leidde echter tot het investeren van meer moeite in het bestuderen van de uitgewerkte voorbeelden zonder dat dit tot meer leren leidde dan in de andere twee condities. Daarnaast investeerden de lerenden die de instructie hadden gekregen om de voorbeelden in stukjes op te delen meer moeite in het maken van de eindtest dan de lerenden die de voorbeelden in een gesegmenteerde lay-out aangeboden kregen (maar zonder grotere leerwinsten). Omdat de voorbeelden uit geschreven tekst bestonden, was de informatie niet vluchtig, en konden de lerenden dus pauzeren tijdens het bestuderen van de

voorbeelden wanneer ze dat wilden. De verwerkingstijdverklaring (of pauzeverklaring) is daarom geen waarschijnlijke verklaring voor de gevonden trend dat segmentatie leidde tot vermindering van de hoeveelheid geïnvesteerde moeite tijdens het leren. Deze bevinding lijkt dus ondersteuning te leveren aan de temporele-cueingverklaring, die stelt dat segmentatie lerenden ondersteunt in het groeperen van informatie-elementen. Daarnaast liet deze studie zien dat instructie geven om te interacteren met het instructiemateriaal, wat vaak wordt gezien als een manier om dieper leren te stimuleren, inderdaad de hoeveelheid geïnvesteerde moeite verhoogde, maar niet leidde tot betere leeruitkomsten. Voor deze beginnende lerenden zou het zelf in stukjes opdelen kunnen worden gezien als een additionele taak die hen afleidt van de primaire taak, namelijk het leren van de voorbeelden.

Omdat de tekstuele informatie in de uitgewerkte voorbeelden die in de studie in Hoofdstuk 4 werden gebruikt niet vluchtig was, was het niet mogelijk om de rol die pauzes spelen in het effect van segmentatie bij animaties te onderzoeken. Dit werd onderzocht in de studie beschreven in Hoofdstuk 5. Derdejaars middelbare scholieren bestudeerden vier animaties over kansberekening in één van vier condities: a) niet gesegmenteerd, b) gesegmenteerd door pauzes, c) gesegmenteerd door tijdelijk donkerder worden van het scherm en d) gesegmenteerd door een combinatie van pauzes en tijdelijk donkerder worden van het scherm. In de twee condities waarin de animaties werden gesegmenteerd door pauzes stopten de animaties aan het eind van ieder segment om na 2 seconden vanzelf weer verder te gaan. In de twee condities waarin de animaties werden gesegmenteerd door het tijdelijk donkerder worden van het scherm, werd een grijze, transparante laag over de animaties geplaatst voor een halve seconde (in de conditie zonder pauzes) of gedurende de pauzes (in de gecombineerde conditie). De resultaten lieten een hoofdeffect van de factor ‘pauzes’ op leeruitkomsten zien: Segmentatie door pauzes leidde tot betere leeruitkomsten, wat ondersteuning levert aan de verwerkingstijdverklaring. Daarnaast werd echter een hoofdeffect van de factor ‘tijdelijk donkerder worden van het scherm’ gevonden op moeite: het bestuderen van de animaties kostte de lerenden in deze condities minder moeite dan de lerenden in de andere twee condities, wat ondersteuning levert aan de temporele-cueingverklaring. De interactie-effecten waren niet significant. Er kan dus worden geconcludeerd dat zowel pauzes als temporele cues een rol lijken te spelen in de positieve effecten van segmentatie op leeruitkomsten en geïnvesteerde moeite.

In de studie beschreven in Hoofdstuk 5 zouden de pauzes, zelfs zonder het tijdelijk donkerder worden van het scherm, signalen met betrekking tot de structuur van de animaties kunnen hebben gegeven. De positieve effecten van de pauzes kunnen dus niet met zekerheid aan de verwerkingstijdverklaring worden toegeschreven. Daarom wordt in de studie die wordt beschreven in Hoofdstuk 6 onderzocht wat de effecten zijn van pauzeren op betekenisvolle momenten versus op random momenten in de animaties. Zowel op basis van de verwerkingstijdverklaring als op basis van de combinatie van de verwerkingstijdverklaring en de temporele-cueingverklaring kunnen positieve effecten op leeruitkomsten en/of geïnvesteerde moeite verwacht worden van segmentatie in betekenisvolle segmenten. Maar, terwijl op basis van de verwerkingstijdverklaring positieve effecten te verwachten zijn van segmentatie in random segmenten, zou volgens de combinatie van de verwerkingstijdverklaring en de temporele-cueingverklaring



segmentatie in random segmenten het leren juist hinderen, aangezien een dergelijke segmentatie verkeerde temporele cues geeft. Derdejaars middelbare scholieren bestudeerden vier animaties over kansberekening in één van drie condities: a) niet gesegmenteerd, b) gesegmenteerd in betekenisvolle segmenten door pauzes of c) gesegmenteerd in random segmenten door pauzes. De pauzes duurden weer 2 seconden en de animaties gingen vanzelf verder na deze pauzes. Er werden geen significante verschillen gevonden in de prestaties op de posttest. Maar wel verschillen in de hoeveelheid moeite die geïnvesteerd werd in het bestuderen van de animaties en het maken van de posttest. Het bestuderen van animaties die in betekenisvolle segmenten waren opgedeeld kostte minder moeite dan het bestuderen van niet-gesegmenteerde animaties. Verder kostte het bestuderen van animaties die in random segmenten waren opgedeeld minder moeite dan het bestuderen van niet-gesegmenteerde animaties, en kostte het maken van de posttest minder moeite na het bestuderen van animaties die in random segmenten waren opgedeeld dan na het bestuderen van niet-gesegmenteerde animaties. In andere woorden, segmentatie in random segmenten leidde niet alleen tot een grotere efficiëntie van het leerproces (zelfde prestaties op de test met minder geïnvesteerde moeite tijdens het bestuderen), maar ook van leeruitkomsten (zelfde prestaties met minder geïnvesteerde moeite tijdens het maken van de test). Deze bevindingen zijn in lijn met de voorspellingen op basis van de verwerkingstijdverklaring, maar niet met die op basis van de combinatie van de verwerkingstijdverklaring en de temporele-cueingverklaring. Daarom lijkt de conclusie te zijn dat de positieve effecten van segmentatie van animaties voornamelijk te wijten zijn aan extra verwerkingstijd.

In de Algemene Discussie in Hoofdstuk 7 worden de voornaamste bevindingen van het proefschrift gepresenteerd, gevolgd door een kritische discussie van de beperkingen van de empirische studies, de theoretische en praktische implicaties van dit onderzoek en ideeën voor vervolgonderzoek. Gezamenlijk laten de studies zien dat pauzes belangrijk zijn voor de positieve effecten van segmentatie van animaties maar dat temporele cues mogelijk ook een rol spelen in deze positieve effecten van segmentatie. Verder werd gevonden dat segmentatie van animaties alleen voor novieten gunstig is.

## Referenties

- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). The time-based resource-sharing model of working memory. In N. Osaka, R. H. Logie, & M. D'Esposito (Eds.), *The cognitive neuroscience of working memory* (pp. 59-80). Oxford, England: Oxford University Press.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138.
- Zacks, J. M., Speer, N. K., Swallow, K. M., Braver, T. S., & Reynolds, J. R. (2007). Event perception: A mind-brain perspective. *Psychological Bulletin*, 133, 273-293.